اولویت‌بندی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها
مطالعهٔ موردی شهر مشهد

مسعود کدخدایی[۱] سید علی ضیائی[۲] روزبه شاد[۳]

چکیده *افزایش تراکم ترافیک در معابر شهری اثرات منفی زیان‌باری نظیر افزایش آلودگی هوا، افزایش مصرف سوخت و افزایش نارضایتی کاربران راه را در پی خواهد داشت. استراتژی‌های کلی کنترل تراکم ترافیک را می‌توان به سه بخش تقسیم نمود که عبارتند از ایجاد محدودهٔ ممنوعهٔ تردد، طرح تردد نوبتی و قیمت‌گذاری تراکم ترافیک. در پژوهش حاضر، استراتژی‌های مذکور بااستفاده از روش ترکیبی دلفی و فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) اولویت‌بندی گردیدند. کلان‌شهر مشهد نیز به‌عنوان مطالعهٔ موردی در این تحقیق انتخاب شد. براساس نتایج به‌دست آمده، استراتژی قیمت‌گذاری تراکم ترافیک با کسب امتیاز ۰/۴۸۴ به‌عنوان بهترین استراتژی کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها شناخته شد. استراتژی‌های طرح تردد نوبتی و ایجاد محدودهٔ ممنوعهٔ تردد نیز با اختلاف بسیار اندکی به‌ترتیب اولویت‌های دوم و سوم را کسب کردند. شاخص‌های هزینهٔ سفر، استفاده از حمل‌ونقل عمومی و تردد خودروهای تک‌سرنشین نیز به‌ترتیب به‌عنوان مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر در ارزیابی و اولویت‌بندی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک شناخته شدند.*

واژه‌های کلیدی کنترل تراکم ترافیک، قیمت‌گذاری تراکم ترافیک، حمل‌ونقل شهری ، روش دلفی، فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP).

Prioritization of traffic congestion control strategies in metropolitan areas, case study: Mashhad

M. Kadkhodaei S. A. Ziaee R. Shad

Abstract *Increasing traffic congestion in urban thoroughfares will have detrimental negative effects such as increasing air pollution, increasing fuel consumption and increasing road user dissatisfaction. General strategies for controlling traffic congestion can be divided into three parts, which are: creating a restricted traffic area, turning traffic plan, and traffic congestion pricing. In the present study, the mentioned strategies were prioritized using the combined Delphi method and Analytic Network Process (ANP). The metropolis of Mashhad was also selected as a case study in this study. Based on the results, the traffic congestion pricing strategy with a score of 0.484 was recognized as the best traffic congestion control strategy in metropolitan areas. The strategies of the turning traffic plan and the creation of a restricted traffic area also gained the second and third priorities, respectively, with a slight difference. The indicators of the travel cost, using of public transportation and single-occupancy car traffic were also recognized as the most important indicators affecting the evaluation and prioritization of traffic congestion control strategies, respectively.*

Key word Traffic Congestion Control, Traffic Congestion pricing, Urban Transportation, Delphi Method, Analytic Network Process (ANP).

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۰/۹/۸ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۰/۱۰/۱۱ از صفحه ۸۱ تا ۹۷ می‌باشد.

(۱) دانشجوی دکتری راه و ترابری، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(۲) نویسنده مسئول، استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. **Email:** sa-ziaee@um.ac.ir
(۳) دانشیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

مقدمه

امروزه یکی از مهم‌ترین مسائل در مدیریت شهری، کنترل تراکم ترافیک و کاهش اثرات منفی آن، به‌خصوص در مناطق مرکزی شهرها است. این اثرات منفی در کلان‌شهرها به‌دلیل بالا بودن حجم تقاضای سفر، بیشتر از سایر شهرها نمود پیدا می‌کند [1]. از جمله اثرات منفی افزایش تراکم ترافیک می‌توان به شدت پیدا کردن آلودگی هوا و افزایش زمان سفر مسافران در سفرهای شهری اشاره کرد که علاوه‌بر پیامدهای مخرب زیست‌محیطی، نارضایتی شهروندان را نیز در پی داشته‌است [2]. بر همین اساس، کنترل تراکم ترافیک در سال‌های اخیر به یکی از مهم‌ترین اهداف مدیریت شهری در کلان‌شهرها تبدیل شده‌است.

استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک را می‌توان در دو دستهٔ کلی شامل استراتژی‌های مبتنی‌بر افزایش عرضه و استراتژی‌های مبتنی‌بر کاهش تقاضا تقسیم‌بندی نمود. اگرچه که افزایش عرضه از طریق توسعهٔ سیستم‌های حمل‌ونقل، احداث راه‌های جدید، تعریض معابر و خیابان‌ها، احداث پارکینگ و تبدیل تقاطع‌ها به تقاطع‌های چندسطحی، باعث افزایش ظرفیت راه‌ها می‌شود، اما تجربه نشان داده‌است که این راهکار در نهایت منجر به افزایش تقاضای سفر و در نتیجه ایجاد تراکم ترافیک‌های بیشتر خواهد شد. از طرفی، افزایش عرضه نیازمند منابع مالی و اعتباری قابل توجهی می‌باشد که غالبا تأمین آنها خارج از توان مالی سازمان‌های مدیریت و کنترل ترافیک است. به همین دلیل، استراتژی‌های مبتنی‌بر کاهش تقاضا بر استراتژی‌های مبتنی‌بر افزایش عرضه ارجحیت دارند[3]. اصلی‌ترین شیوه‌های اجرای سیاست‌های مبتنی‌بر کاهش تقاضای ترافیک که تاکنون در شهرهای مختلف جهان استفاده شده‌اند عبارتند از ایجاد محدودهٔ ممنوعهٔ تردد، قیمت‌گذاری تراکم ترافیک و طرح ترافیک مبتنی‌بر تردد نوبتی خودروها یا طرح زوج و فرد.

در استراتژی‌های مبتنی‌بر ایجاد محدودهٔ ممنوعهٔ تردد، محدوده‌ای از شهر به‌عنوان محدودهٔ طرح ترافیک مشخص می‌شود و در ساعات خاصی که معمولا دربرگیرندهٔ ساعات اوج می‌باشند، از ورود تمامی خودروها به این محدوده جلوگیری می‌شود. کنترل ورود خودروها به محدودهٔ طرح معمولا بااستفاده از حضور فیزیکی پلیس و یا با نصب دوربین‌های کنترل ترافیک در ورودی‌های محدودهٔ طرح ترافیک صورت می‌پذیرد. لازم به ذکر است که در این طرح، خودروهای امدادی و وسایل نقلیهٔ حمل‌ونقل همگانی محدودیتی برای ورود به محدودهٔ طرح ندارند. هم‌چنین، رانندگانی که مجوز ورود به محدودهٔ طرح ترافیک را داشته باشند نیز با محدودیتی مواجه نخواهند شد [4].

در استراتژی‌های مبتنی‌بر قیمت‌گذاری تراکم ترافیک نیز مشابه استراتژی‌های مبتنی‌بر ایجاد محدودهٔ ممنوعهٔ تردد، ابتدا محدوده‌ای از شهر که غالبا مناطق مرکزی شهر می‌باشد، به‌عنوان محدودهٔ طرح ترافیک مشخص می‌شود و تردد خودروها در این محدوده منوط به پرداخت عوارض می‌گردد. این استراتژی برای اولین‌بار در سال ۱۹۲۰ مطرح گردید و پژوهش‌های مختلفی نیز تاکنون کارامدی این استراتژی را در کنترل تراکم ترافیک نشان داده‌اند [5, 6]. استراتژی قیمت‌گذاری تراکم ترافیک در آزادراه‌ها و بزرگ‌راه‌ها معمولا با هدف تأمین هزینه‌های نگه‌داری راه و تسهیلات آن انجام می‌شود، اما استفاده از این استراتژی در معابر درون‌شهری غالبا به‌منظور کاهش تراکم ترافیک و بار ترافیکی معابر انجام می‌شود [7]. در اجرای استراتژی قیمت‌گذاری تراکم ترافیک توجه به این نکته ضروری است که در صورت افزایش مقدار عوارض در ساعات اوج نسبت‌به سایر ساعات، کارایی این استراتژی برای کنترل تراکم ترافیک به نحو مؤثری افزایش خواهد یافت[8].

در استراتژی‌های مبتنی‌بر تردد نوبتی خودروها یا طرح زوج و فرد نیز مشابه دو استراتژی پیشین، محدوده‌ای از معابر شهری به‌عنوان محدودهٔ طرح ترافیک تعیین می‌گردد، اما در این استراتژی در هر روز از روزهای هفته به تعداد خاصی از خودروها اجازهٔ تردد در محدودهٔ مذکور داده می‌شود. نحوهٔ نوبت‌دهی به خودروها در این طرح معمولا بدین صورت است که در

روزهای زوج هفته خودروهایی با پلاک زوج و در روزهای فرد هفته نیز خودروهای دارای پلاک فرد اجازهٔ ورود به محدودهٔ طرح ترافیک را پیدا می‌کنند. از معایب این نحوهٔ اجرا این است که افرادی که دارای دو خودروی شخصی با پلاک‌های زوج و فرد هستند عملا هیچ‌گونه محدودیتی برای ورود به محدودهٔ طرح ترافیک در هیچ یک از روزهای هفته نخواهند داشت. به‌منظور جلوگیری از وقوع این معضل در اجرای طرح ترافیک، نوبت‌دهی به خودروها به‌صورت متغیر نیز می‌تواند انجام پذیرد تا رانندگان امکان پیش‌بینی روزهایی را که ورود به محدودهٔ ترافیک برای آنها مجاز خواهد بود نداشته باشند [9].

هر کدام از این سیاست‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارند و باتوجه به وضعیت ترافیکی هر کلان‌شهر، ممکن است هرکدام از این سیاست‌ها نسبت‌به سایرین ارجحیت داشته باشند؛ لذا برای انتخاب بهترین سیاست کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرهای مختلف لازم است این سه دسته سیاست کلی با یکدیگر مقایسه شوند و مورد تحلیل و ارزیابی قرار گیرند. هدف این تحقیق، شناسایی و رتبه‌بندی معیارهای مؤثر بر ارزیابی راهکارهای کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها و رتبه‌بندی این راهکارها براساس معیارهای مذکور می‌باشد. از طرفی درصورتی‌که یک یا چند راهکار کنترل تراکم ترافیک در شهری به اجرا در نیامده باشد نمی‌توان اطلاعات دقیقی از اثرات اجرای هر یک از آن راهکارها در شهر مورد نظر به‌دست آورد. به همین دلیل، در چنین شرایطی پژوهشگران از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی و اولویت‌بندی این راهکارها استفاده می‌کنند.

محدودهٔ مورد مطالعه در این تحقیق کلان‌شهر مشهد می‌باشد. برای کنترل تراکم ترافیک در محدودهٔ مرکزی این کلان‌شهر تاکنون تنها از طرح تردد نوبتی استفاده شده‌است. در پژوهش حاضر، استراتژی مذکور با سایر استراتژی‌های موجود برای کنترل تراکم ترافیک مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته‌است. در این ارزیابی، استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک بااستفاده از روش ترکیبی دلفی و تحلیل شبکه‌ای (ANP) اولویت‌بندی شده‌اند.

پیشینهٔ تحقیق

مطالعات مختلفی تاکنون در مورد هر یک از استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک انجام شده‌اند که در این بخش به اختصار به برخی از آنها اشاره می‌گردد. به‌کمک پژوهش‌های گذشته می‌توان نقاط مثبت و منفی استراتژی‌های مختلف کنترل تراکم ترافیک را شناسایی کرد و ارزیابی دقیق‌تری درمورد آنها انجام داد.

در میان این مطالعات، تعداد پژوهش‌هایی که به سیاست قیمت‌گذاری و جنبه‌های مختلف آن پرداخته‌اند بیشتر از پژوهش‌های سایر استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک می‌باشد. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به قیمت‌گذاری تراکم ترافیک باتوجه به هزینه‌های اجتماعی توسط اسمیت اشاره کرد. در پژوهش مذکور، خودروهایی که در معابری با بار ترافیکی زیاد تردد می‌کنند ملزم به پرداخت هزینه‌ای خواهند بود که مقدار آن با محاسبهٔ اختلاف هزینهٔ حاشیه‌ای هر یک از کاربران راه و هزینهٔ حاشیه‌ای عمومی تعیین می‌گردد [10].

در پژوهش احمدی آذری و همکاران [11] تغییرات تقاضای سفر در اهداف مختلف سفرهای شهری مشهد در اثر اجرای سناریوهای قیمت‌گذاری تراکم ترافیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش بیانگر تفاوت حساسیت کاربران راه در سفرهای کاری و غیرکاری نسبت‌به اجرای سناریوهای قیمت‌گذاری تراکم ترافیک بود.

بوجین و همکاران [12] نیز در پژوهش خود مدلی برای قیمت‌گذاری تراکم ترافیک طراحی کردند که علاوه‌بر کمینه کردن هزینه‌های سیستم، محدودیت ظرفیت را نیز در نظر می‌گرفت.

لارا و همکاران [13] در پژوهش خود نقش اجرای استراتژی قیمت‌گذاری تراکم ترافیک را در برنامه‌ریزی‌های شهری مورد بررسی قرار دادند. در این

پژوهش دو شیوهٔ قیمت‌گذاری تراکم ترافیک براساس مجوز ورود به محدوده و براساس مسافت سفر مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج این پژوهش بیانگر کاهش ۱۵ درصدی در میانگین مسافت سفرهای شهری بود.

در پژوهش داگانزو و لهه[14]، استراتژی قیمت‌گذاری تراکم ترافیک براساس مسافت طی‌شده در محدودهٔ طرح ترافیک مورد بررسی قرار گرفت و با سایر شیوه‌های اجرای این سیاست مقایسه شد. نتایج این پژوهش بیانگر ارجحیت شیوهٔ قیمت‌گذاری تراکم ترافیک براساس مسافت طی‌شده در محدودهٔ طرح ترافیک نسبت‌به سایر شیوه‌های اجرای این استراتژی بود.

در پژوهش باندیرا و همکاران[15]، میزان تغییر مسیرهای خودروها در اثر قیمت‌گذاری تراکم ترافیک پایش شد و مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش بیانگر کاهش معنی‌دار آلاینده‌های زیست‌محیطی در اثر اجرای استراتژی قیمت‌گذاری تراکم ترافیک بود .

امیرقلی و همکاران [16] نیز در پژوهش خود حساسیت گروه‌های مختلف شغلی نسبت‌به اجرای طرح قیمت‌گذاری تراکم ترافیک در یک منطقه با کاربری‌های غالبا تجاری را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش حاکی از تفاوت معنی‌دار میان حساسیت گروه‌های مختلف شغلی نسبت‌به اجرای طرح قیمت‌گذاری تراکم ترافیک بود. پژوهش انجام‌شده توسط گوئو و همکاران [17] درمورد انتخاب وسیلهٔ سفر در شرایط قیمت‌گذاری تراکم ترافیک نیز نشان داد که اجرای این استراتژی تأثیر معنی‌داری بر تغییر مد سفر مسافران سفرهای صبحگاهی در کشور چین دارد.

پژوهش سیمونی و همکاران[18] نیز اثر قابل قبول استراتژی‌های مبتنی‌بر قیمت‌گذاری تراکم ترافیک بر کاهش تراکم را نشان داد و این استراتژی را یک ابزار کلیدی برای مدیریت تقاضای سفر معرفی کرد.

درزمینهٔ استراتژی‌های مبتنی‌بر طرح تردد نوبتی خودروها مطالعات کمتری انجام شده‌است؛ از جمله تجربیات سایر کشورها می‌توان به اجرای این طرح در شهر لاگوس اشاره کرد. مطابق نتایج به‌دست آمده، اجرای طرح تردد نوبتی در شهر مذکور تنها در سال‌های آغازین مؤثر بود و اجرای این طرح در دراز مدت موجب خرید خودروهای ثانویه و وسایل نقلیهٔ دیگری نظیر موتورسیکلت توسط شهروندان شد که نتیجهٔ آن، رشد مجدد تراکم ترافیک در محدودهٔ مورد نظر بود [19].

پژوهش پاک‌گوهر و هوشنگی‌فر [20] در بررسی نتایج اجرای طرح تردد نوبتی خودروها به‌صورت زوج و فرد در تهران نیز حاکی از عدم موفقیت این طرح در کاهش میزان آلودگی هوا در شهر تهران بوده‌است. براساس نتایج پژوهش مذکور، اجرای طرح تردد زوج و فرد تنها باعث جابه‌جایی آلودگی هوا و توزیع آن در مناطق مختلف شهر می‌شود و تأثیر معنی‌داری بر کاهش میزان آلودگی هوا در کلان‌شهر تهران ندارد ؛ اما طبق پژوهشی که کومار و همکاران[21] در سال جاری در شهر دهلی در کشور هندوستان انجام داده‌اند، اجرای طرح تردد نوبتی زوج و فرد اثر مثبتی بر شاخص‌های ترافیکی نظیر هزینهٔ سفر، زمان سفر، ایمنی و امنیت، رضایت کاربر، تراکم ترافیک، تقاضای پارکینگ و مصرف سوخت داشته‌است.

علاوه‌بر موارد فوق، برخی پژوهش‌ها نیز به مقایسهٔ دو یا چند شیوه از روش‌های مختلف کنترل تراکم ترافیک پرداخته‌اند؛ از جمله این موارد می‌توان به پژوهش کدخدایی و شاد در سال ۱۳۹۸ اشاره نمود که در آن صرفا روش‌های قیمت‌گذاری تراکم ترافیک مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند [22].

لطیفی و عبادی[9] نیز در سال ۱۳۹۲ سه سیاست قیمت‌گذاری تراکم ترافیک، طرح تردد نوبتی و محدودهٔ ممنوعهٔ ترافیک را بااستفاده از شبیه‌سازی نرم‌افزاری در شهر تهران با یکدیگر مورد مقایسه قرار دادند و جایگزینی طرح تردد نوبتی (زوج و فرد) با قیمت‌گذاری تراکم ترافیک در شهر تهران را بررسی کردند. آنها در پژوهش خود تأثیر سیاست‌های مذکور بر کاهش حجم ترافیک و تغییرات زمان سفر را بررسی کردند. نتایج پژوهش مذکور نشان داد که وجود محدودهٔ طرح ترافیک

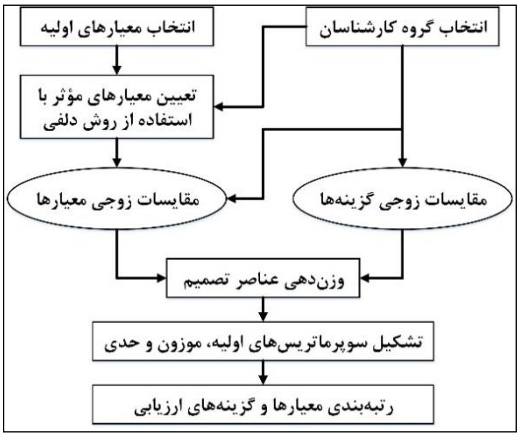
در شهر تهران می‌تواند کل زمان سفر شبکه را ۸ درصد کاهش دهد و بر سرعت متوسط ۱/٤ کیلومتر بر ساعت بیافزاید. هم‌چنین براساس نتایج این پژوهش، جایگزینی طرح تردد نوبتی (زوج و فرد) با طرح قیمت‌گذاری تراکم ترافیک در شهر تهران تغییرات قابل توجهی در بهبود شاخص‌های ترافیکی و زیست‌محیطی ایجاد نخواهد کرد.

روش تحقیق

روش انتخاب‌شده برای ارزیابی راهکارهای کنترل تراکم ترافیک در پژوهش حاضر، روش ترکیبی دلفی و تحلیل شبکه‌ای (ANP) می‌باشد. این روش‌ها هر دو از روش‌های پرکاربرد تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشند. در روش ترکیبی مورد استفاده در پژوهش حاضر، ابتدا معیارهای مؤثر در ارزیابی راهکارهای کنترل تراکم ترافیک بااستفاده از روش دلفی و براساس نظرات کارشناسان شناسایی و تعیین می‌شوند. سپس این معیارها در روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) مورد استفاده قرار می‌گیرند و براساس آنها گزینه‌های ارزیابی رتبه‌بندی می‌شوند. فلوچارت مراحل ارزیابی و رتبه‌بندی راهکارها بااستفاده از روش ترکیبی دلفی و تحلیل شبکه‌ای (ANP) در شکل (۱) نشان داده شده‌است.

انتخاب گروه کارشناسان

در روش‌های مبتنی‌بر نظرات کارشناسان مانند روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و تحلیل شبکه‌ای (ANP) نظرات افراد عادی مورد استناد نیست و تنها به نظرات کارشناسی رجوع می‌شود؛ بر همین اساس، تعداد کارشناسان انتخاب‌شده بسیار کمتر از اندازهٔ نمونه در تحقیقات مبتنی‌بر آماربرداری میدانی می‌باشد و به اعدادی نظیر ۱۵ یا ۲۰ محدود می‌شود. باتوجه به این‌که در پژوهش‌های مرتبط پیشین، اندازهٔ گروه کارشناسان غالبا ۲۰ نفر بوده‌است، در این تحقیق نیز تعداد کارشناسان برابر با ۲۰ نفر انتخاب شد [22].



شکل ۱ فلوچارت مراحل ارزیابی

از طرفی باتوجه به این‌که ضروری است کارشناسان با موضوع تحقیق و محدودهٔ مورد مطالعه آشنایی کافی داشته باشند، فارغ‌التحصیلان رشته‌های مهندسی حمل‌ونقل و راه‌وترابری که در سازمان‌ها و شرکت‌های حمل‌ونقلی شهر مشهد مشغول به کار هستند و با شرایط ترافیکی این کلان‌شهر آشنایی دارند به‌عنوان گروه کارشناسان انتخاب شدند.

روش دلفی

روش دلفی غالبا برای تعیین معیارهای مؤثر در مطالعات مبتنی‌بر ارزیابی و رتبه‌بندی گزینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. شیوهٔ اجرای این روش بدین صورت است که ابتدا گروه کارشناسان انتخاب می‌شود و براساس نظرات آنها، معیارهای اولیه براساس مقادیر نشان داده شده در جدول (۱) و برحسب میزان مؤثر بودن در ارزیابی امتیازدهی می‌شوند. سپس با میانگین‌گیری از امتیازات ثبت‌شده توسط کارشناسان، امتیاز نهایی هر یک از معیارهای اولیه مشخص می‌شود و معیارهایی که امتیاز نهایی آنها بالاتر از مقدار آستانهٔ تحمل (۰/۷) باشد به‌عنوان معیارهای مؤثر در ارزیابی انتخاب می‌شوند [23].

جدول ۱ مقیاس امتیازدهی در روش دلفی

امتیاز	تعریف
۱/۰۰	خیلی مؤثر
۰/۷۵	مؤثر
۰/۵۰	تأثیر متوسط
۰/۲۵	بی‌تأثیر
۰/۰۰	خیلی بی‌تأثیر

روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)

روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) در سال ۱۹۹۹ توسط ساعتی ابداع گردید. این روش، یکی از روش‌های پرکاربرد تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد [24]. روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) مانند روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انعطاف‌پذیر و ساده است و امکان سنجش میزان سازگاری قضاوت‌ها و بررسی هم‌زمان معیارهای کمی و کیفی در آن وجود دارد [25]. از مزایای این روش می‌توان به امکان در نظر گرفته شدن وابستگی‌های موجود میان عناصر تصمیم و عدم مواجهه با محدودیت‌های روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) اشاره کرد.

در اولین مرحله از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) عناصر تصمیم یعنی گزینه‌ها، معیارها و زیرمعیارها در قالب خوشه‌های تصمیم‌گیری طبقه‌بندی می‌گردند و درخت تصمیم تشکیل می‌شود. در مرحلهٔ بعد، مقایسات زوجی در سطوح مختلف عناصر تصمیم بااستفاده از مقیاس ۹ درجه‌ای که در جدول (۲) نمایش داده شده‌است و براساس نظرات گروه خبرگان و کارشناسان انجام می‌شوند. در این مقیاس برحسب میزان اهمیت دو عنصر نسبت‌به یکدیگر عددی بین ۱ تا ۹ در مقایسهٔ زوجی آن دو عنصر توسط کارشناسان ثبت می‌گردد [24].

جدول ۲ مقیاس ۹ درجه‌ای امتیازدهی در مقایسات زوجی

امتیاز	تعریف
۱	اهمیت مساوی
۳	اهمیت اندکی بیشتر
۵	اهمیت بیشتر
۷	اهمیت خیلی بیشتر
۹	اهمیت مطلق
۲، ٤، ٦ و ۸	ترجیحات بینابین

نکتهٔ قابل توجه در انجام مقایسات زوجی، سازگار بودن مؤلفه‌های هر ماتریس زوجی با یکدیگر می‌باشد. این سازگاری براساس مقدار ضریبی به نام ضریب سازگاری (CR) سنجیده می‌شود. مقدار ضریب سازگاری (CR) بااستفاده از رابطهٔ (۱) تعیین می‌شود.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (۱)$$

$$CI = \frac{\lambda max - n}{n - 1} \quad (۲)$$

در رابطهٔ (۱) CI شاخص سازگاری و RI شاخص تصادفی بودن می‌باشند که به‌ترتیب بااستفاده از رابطهٔ (۲) و جدول (۳) قابل محاسبه هستند. در رابطهٔ (۲)، n تعداد معیارها و λ_{max} مقدار ویژه بیشینه ماتریس مقایسات زوجی مربوط می‌باشند [24]. لازم به ذکر است که فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در پژوهش حاضر بااستفاده از نرم‌افزار Super Decisions انجام شده و اوزان عناصر تصمیم و مقادیر ضرایب سازگاری ماتریس‌های مقایسات زوجی نیز توسط نرم‌افزار محاسبه گردیده‌اند.

جدول ۳ مقادیر شاخص تصادفی بودن براساس تعداد

n	RI	n	RI
۱	۰/۰۰	٦	۱/۲٤
۲	۰/۰۰	۷	۱/۳۲
۳	۰/۵۸	۸	۱/٤۱
٤	۰/۹۰	۹	۱/٤٥
۵	۱/۱۲	۱۰	۱/٤۹

در مرحلهٔ بعد، وابستگی‌های موجود میان عناصر تصمیم مشخص می‌شوند و میزان وابستگی‌های مذکور بااستفاده از مقایسات زوجی و براساس نظرات گروه کارشناسان و خبرگان تعیین می‌گردند؛ سپس مقادیر نهایی مقایسات زوجی با محاسبهٔ میانگین هندسی نظرات کارشناسان در هر ماتریس مقایسات زوجی تعیین می‌شوند و براساس آنها مقادیر اوزان عناصر تصمیم بااستفاده از رابطهٔ (۳) و رابطهٔ (٤) تعیین می‌گردند. در این روابط، a_{ij} مؤلفهٔ غیرنرمال و r_{ij} مؤلفهٔ نرمال ماتریس مقایسات زوجی و W_i وزن عنصر i در ماتریس مقایسات زوجی مربوط می‌باشند.

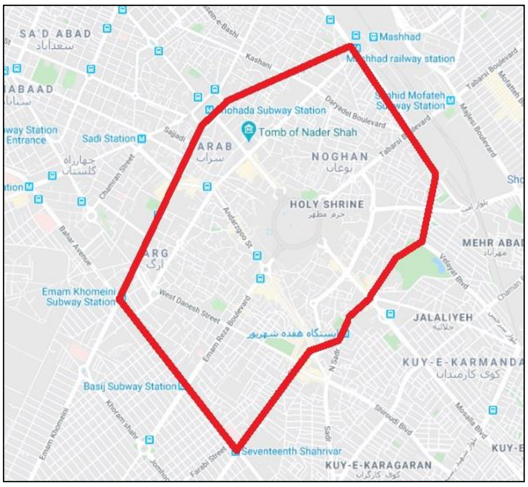
$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \qquad i,j=1, 2,\ldots, n \qquad (۳)$$

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} r_{ij}}{n} \qquad i,j=1, 2,\ldots, n \qquad (٤)$$

در انتها، مقادیر اوزان اولیهٔ عناصر تصمیم در سوپرماتریس اولیه قرار می‌گیرند. سپس با نرمال‌سازی مؤلفه‌های سوپرماتریس اولیه، سوپرماتریس موزون یا وزن‌دارشده تولید می‌شود. پس از آن، ماتریس موزون آن‌قدر در خودش ضرب می‌شود تا مقادیر مؤلفه‌های آن ثابت شود و دیگر در اثر ضرب‌های متوالی ماتریس تغییری در آنها مشاهده نشود. به ماتریس حاصل سوپرماتریس حدی یا محدودشده گفته می‌شود. مؤلفه‌های ماتریس حدی مقادیر اوزان نهایی عناصر تصمیم می‌باشند که براساس آنها می‌توان رتبه‌بندی عناصر تصمیم را انجام داد [24].

محدودهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ مورد مطالعه در پژوهش حاضر، کلان‌شهر مشهد می‌باشد. این شهر با جمعیتی بالغ بر ۳/۵ میلیون نفر، دومین کلان‌شهر ایران است. به‌دلیل قرار گرفتن حرم مطهر امام هشتم شیعیان، حضرت علی بن موسی‌الرضا (ع) در مشهد، این شهر اولین کلان‌شهر مذهبی کشور نیز محسوب می‌شود و سالانه حدود ۲۵ میلیون نفر زائر و گردشگر به آن سفر می‌کنند [26]. شیوهٔ غالب سفر زائران، استفاده از خودروی شخصی می‌باشد. باتوجه به این‌که حرم مطهر امام هشتم (ع) در محدودهٔ مرکزی این کلان‌شهر واقع شده‌است، تردد خودروهای زائران نیز غالبا در نواحی مرکزی شهر انجام می‌پذیرد. به همین دلیل، حجم تردد وسایل نقلیه در معابر مرکزی شهر مشهد، به‌خصوص در ایام پیک و ساعات اوج ترافیک بیشتر از ظرفیت معابر مذکور می‌گردد [27]. به همین جهت، در سال‌های اخیر طرح ترافیک تردد نوبتی خودروها در محدودهٔ مرکزی شهر مشهد به اجرا درآمده‌است. هدف از اجرای طرح ترافیک مذکور، کاهش حجم ترافیک، مصرف سوخت و آلودگی هوا در محدودهٔ مرکزی شهر بوده‌است [28]. نقشهٔ محدودهٔ طرح ترافیک زوج و فرد در شهر مشهد در شکل (۲) نمایش داده شده‌است.



شکل ۲ نقشهٔ محدودهٔ طرح ترافیک شهر مشهد

نتایج

تشکیل درخت تصمیم

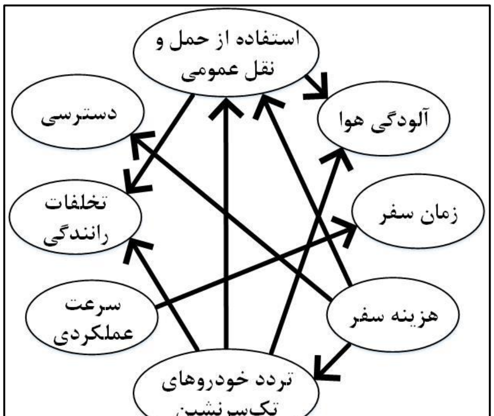
درخت تصمیم در روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) شامل خوشه‌های عناصر تصمیم و وابستگی‌های موجود میان آنها می‌باشد. بنابراین تشکیل درخت تصمیم در این

روش منوط به تعیین عناصر تصمیم شامل گزینه‌ها، معیارها و زیرمعیارها و هم‌چنین تعیین وابستگی‌های موجود میان عناصر تصمیم می‌باشد. گزینه‌های درنظر گرفته‌شده به‌عنوان استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها در این پژوهش عبارتند از استراتژی ایجاد محدودهٔ ممنوعهٔ تردد، استراتژی طرح تردد نوبتی و استراتژی قیمت‌گذاری تراکم ترافیک.

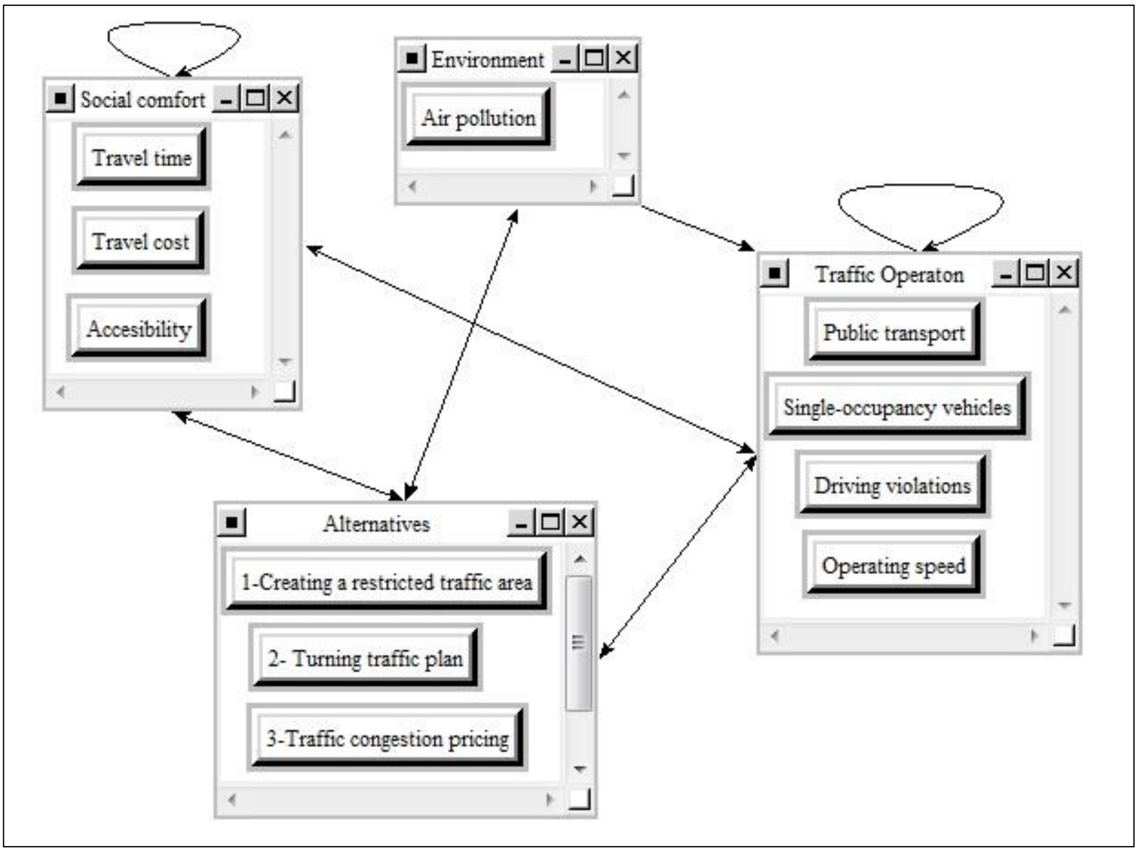
برای تعیین معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی ابتدا معیارها و زیرمعیارهای مورد استفاده در پژوهش‌های پیشین [22] به‌عنوان معیارها و زیرمعیارهای اولیه درنظر گرفته شد و مؤثر بودن آنها در ارزیابی راهکارهای کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها، بااستفاده از روش دلفی مورد ارزیابی قرار گرفت. مطابق این روش، میزان مؤثر بودن هر معیار (زیرمعیار) توسط کارشناسان و برحسب امتیازات جدول (۱) امتیازدهی شد. سپس معیارها و زیرمعیارهایی که میانگین امتیازات آنها بالاتر از حد آستانه در روش دلفی (۰/۷) بود به‌عنوان معیارها و زیرمعیارهای مؤثر ارزیابی انتخاب شدند (جدول ٤).

جدول ٤ معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها

معیارهای اولیه	زیرمعیارهای اولیه	میانگین امتیازات	مقدار حد آستانه	پذیرش / رد
رفاه اجتماعی	زمان سفر	۰/۹۳	۰/۷	پذیرش
	هزینهٔ سفر	۰/۸۰	۰/۷	پذیرش
	دسترسی	۰/۷٦	۰/۷	پذیرش
عملکرد ترافیکی	استفاده از حمل‌ونقل عمومی	۰/۷۹	۰/۷	پذیرش
	تردد خودروهای تک‌سرنشین	۰/۸۵	۰/۷	پذیرش
	تخلفات رانندگی	۰/۷٤	۰/۷	پذیرش
	سرعت عملکردی	۰/۷٦	۰/۷	پذیرش
ایمنی	تصادفات خودروها	۰/۵۰	۰/۷	رد
	تصادفات عابران و دوچرخه‌سواران	۰/٦۵	۰/۷	رد
زیست‌محیطی	آلودگی هوا	۰/۷٤	۰/۷	پذیرش
	آلودگی صوتی	۰/٦۱	۰/۷	رد



شکل ۳ وابستگی‌های درنظر گرفته‌شده بین عناصر تصمیم



شکل ٤ درخت تصمیم ارزیابی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها در نرم‌افزار Super Decisions

همان‌گونه که در جدول (٤) مشاهده می‌شود، براساس تحلیل انجام‌شده بااستفاده از روش دلفی سه زیرمعیار تصادفات خودروها، تصادفات عابران پیاده و دوچرخه‌سواران و آلودگی صوتی معیارهای مؤثری در ارزیابی راهکارهای کنترل تراکم ترافیک شناخته نشدند. باتوجه به این‌که اطلاعات دقیقی از میزان تأثیر هر یک از راهکارهای کنترل تراکم ترافیک بر سه زیرمعیار مذکور موجود نمی‌باشد، برآورد تأثیر گزینه‌های ارزیابی بر این زیرمعیارها توسط کارشناسان نیز چندان دقیق نخواهد بود. بنابراین عدم پذیرش این زیرمعیارها به‌عنوان زیرمعیارهای مؤثر در ارزیابی راهکارهای کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها قابل قبول می‌باشد. بدین ترتیب معیار اولیهٔ ایمنی که شامل دو زیرمعیار تصادفات خودروها و تصادفات عابران و دوچرخه‌سواران بود نیز معیار مؤثری در ارزیابی حاضر شناخته نمی‌شود و از معیارهای ارزیابی حذف می‌گردد. پس از تعیین معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در ارزیابی، وابستگی‌های موجود میان زیرمعیارهای ارزیابی بااستفاده از نظرات کارشناسی مطابق شکل (۳) مشخص شدند. در این شکل، اثرگذاری زیرمعیارها روی یکدیگر بااستفاده از پیکان نمایش داده شده‌اند.

پس از تعیین معیارها و زیرمعیارهای نهایی و گزینه‌های ارزیابی و تعیین وابستگی‌های موجود میان عناصر تصمیم، با تعریف موارد فوق و مشخص کردن وابستگی‌های میان عناصر تصمیم در نرم‌افزار Super Decisions، درخت تصمیم مطابق شکل (٤) در نرم‌افزار مذکور تشکیل گردید.

مقایسات زوجی و تشکیل سوپرماتریس اولیه

پس از تشکیل درخت تصمیم، مقایسات زوجی عناصر تصمیم بااستفاده از نظرات کارشناسان انجام شدند. با محاسبهٔ میانگین هندسی امتیازات ثبت‌شده توسط کارشناسان، مقادیر نهایی مؤلفه‌های هر یک از ماتریس‌های مقایسات زوجی عناصر تصمیم تعیین شدند. به طریق مشابه، مقدار وابستگی عناصر دارای وابستگی نیز بااستفاده از مقایسات زوجی و براساس نظرات کارشناسان مشخص شدند. سپس اوزان عناصر تصمیم بااستفاده از روابط (۳) و (٤) محاسبه شدند و به‌همراه اوزان وابستگی‌های موجود میان عناصر تصمیم، مطابق جدول (۵) در سوپرماتریس اولیه قرار گرفتند.

اعتبارسنجی نتایج مقایسات زوجی

مقادیر ضرایب سازگاری ماتریس‌های مقایسات زوجی عناصر تصمیم شامل معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌های ارزیابی توسط نرم‌افزار محاسبه شدند و تمامی این مقادیر کمتر از ۰/۱ بودند. بدین ترتیب سازگاری تمامی ماتریس‌های مقایسات زوجی عناصر تصمیم مورد تأیید قرار گرفت.

تشکیل سوپرماتریس‌های موزون و حدی

پس از تشکیل سوپرماتریس اولیه، برای این‌که اوزان خوشه‌ها یعنی معیارهای ارزیابی نیز در مقادیر مؤلفه‌های ماتریس اثر داده شوند، مقادیر مؤلفه‌های هر یک از ستون‌های سوپرماتریس اولیه نرمال‌سازی شدند. بدین ترتیب سوپرماتریس وزن‌دارشده یا موزون حاصل گردید. سپس سوپرماتریس حاصل به‌صورت متوالی در خودش ضرب گردید تا درنهایت مقادیر مؤلفه‌های آن ثابت گردید و سوپرماتریس محدودشده یا حدی تشکیل گردید. مقادیر اوزان عناصر تصمیم در سوپرماتریس حدی در جدول (٦) نشان داده شده‌اند. لازم به ذکر است که محاسبهٔ تمامی سوپرماتریس‌های اولیه، موزون و حدی در این پژوهش توسط نرم‌افزار Super Decisions انجام شده‌است.

رتبه‌بندی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌های ارزیابی

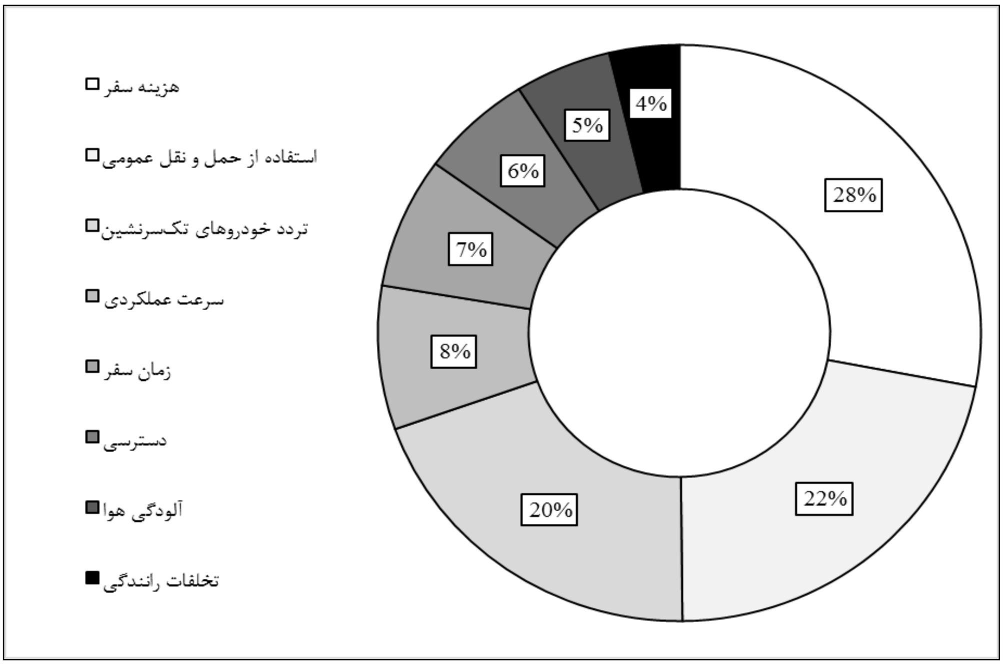
مقادیر مؤلفه‌های سوپرماتریس حدی برابر با اوزان نهایی عناصر تصمیم می‌باشند. بنابراین اولویت‌بندی عناصر تصمیم براساس همین مقادیر قابل انجام است. به‌منظور محاسبهٔ اوزان نهایی معیارهای ارزیابی نیز کافی است مجموع اوزان نهایی زیرمعیارهای مربوط به آن معیار محاسبه شود. باتوجه به این‌که هدف پژوهش حاضر اولویت‌بندی گزینه‌های ارزیابی یعنی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها و هم‌چنین رتبه‌بندی معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در ارزیابی این استراتژی‌ها می‌باشد، برای این‌که در رتبه‌بندی و اولویت‌بندی هر یک از دسته‌های عناصر تصمیم (معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها) بتوانیم مقایسهٔ بهتری بین آنها داشته باشیم، مقادیر اوزان نهایی به‌دست‌آمده از سوپرماتریس حدی نرمال‌سازی شدند و هر یک از دسته‌های عناصر تصمیم براساس اوزان نرمال‌شدهٔ آن عناصر اولویت‌بندی و رتبه‌بندی شدند.

جدول ۵ سوپرماتریس اولیه

سوپرماتریس اولیه		عملکرد ترافیکی: تردد خودروهای تک‌سرنشین	عملکرد ترافیکی: استفاده از حمل‌ونقل عمومی	عملکرد ترافیکی: سرعت عملکردی	عملکرد ترافیکی: تخلفات رانندگی	رفاه اجتماعی: زمان سفر	رفاه اجتماعی: هزینهٔ سفر	رفاه اجتماعی: دسترسی	زیست محیطی: آلودگی هوا	گزینه‌ها: قیمت‌گذاری تراکم ترافیک	گزینه‌ها: طرح تردد نوبتی	گزینه‌ها: محدودهٔ ممنوعهٔ تردد
گزینه‌ها	محدودهٔ ممنوعهٔ تردد	۰/۵۵۳	۰/۵۶۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۲	۰/۲۰۰	۰/۱۳۷	۰/۱۴۶	۰/۱۴۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	طرح تردد نوبتی	۰/۳۰۹	۰/۳۱۴	۰/۲۳۹	۰/۲۴۴	۰/۲۶۴	۰/۲۳۷	۰/۲۳۳	۰/۲۴۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	قیمت‌گذاری تراکم ترافیک	۰/۱۳۷	۰/۱۱۷	۰/۶۰۲	۰/۶۰۴	۰/۵۳۶	۰/۶۲۷	۰/۶۲۱	۰/۶۱۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
زیست محیطی	آلودگی هوا	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
رفاه اجتماعی	دسترسی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۸۶	۰/۲۸۶	۰/۲۸۶
	هزینهٔ سفر	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۶۸	۰/۳۶۸	۰/۳۶۸
	زمان سفر	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۴۶	۰/۳۴۶	۰/۳۴۶
عملکرد ترافیکی	تخلفات رانندگی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۹۹	۰/۰۹۹	۰/۰۹۹
	سرعت عملکردی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۱۶	۰/۱۱۶	۰/۱۱۶
	استفاده از حمل‌ونقل عمومی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۷۸۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۷۴۲	۰/۴۸۹	۰/۴۸۹	۰/۴۸۹
	تردد خودروهای تک‌سرنشین	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۱۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۵۸	۰/۳۰۰	۰/۳۰۰	۰/۳۰۰

جدول ۶ اوزان عناصر تصمیم در سوپرماتریس حدی

		زیرمعیارها	وزن در سوپرماتریس حدی
معیارها	رفاه اجتماعی	زمان سفر	۰/۰۴۵
		هزینهٔ سفر	۰/۱۷۰
		دسترسی	۰/۰۳۷
	عملکرد ترافیکی	استفاده از حمل‌ونقل عمومی	۰/۱۳۳
		تردد خودروهای تک‌سرنشین	۰/۱۲۰
		تخلفات رانندگی	۰/۰۲۳
		سرعت عملکردی	۰/۰۴۹
	زیست‌محیطی	آلودگی هوا	۰/۰۳۲
گزینه‌ها		محدودهٔ ممنوعهٔ تردد	۰/۱۰۱
		طرح تردد نوبتی	۰/۱۰۱
		قیمت‌گذاری تراکم ترافیک	۰/۱۹۰



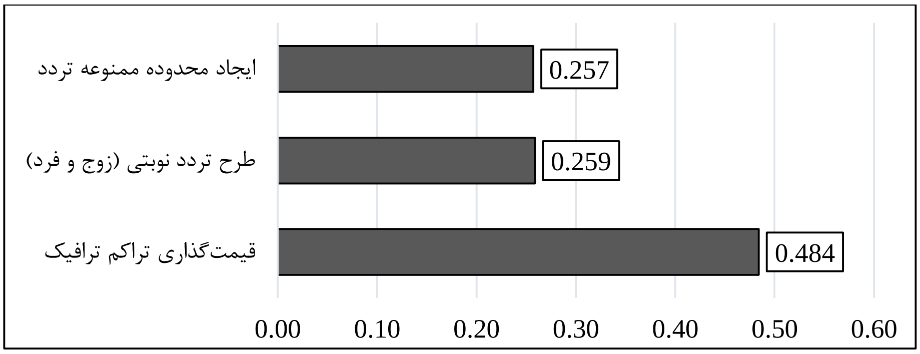
شکل ۵ رتبه‌بندی زیرمعیارهای ارزیابی راهکارهای کنترل تراکم ترافیک

پس از نرمال‌سازی اوزان نهایی زیرمعیارهای ارزیابی، اولویت‌بندی آنها مطابق شکل (۵) انجام گردید. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مهم‌ترین شاخص مؤثر در ارزیابی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها، شاخص هزینهٔ سفر می‌باشد. بنابراین ضروری است در انتخاب استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها بیش از هر چیز به‌میزان تأثیر استراتژی مورد بررسی در کاهش هزینهٔ سفرهای شهری توجه شود. شاخص‌های استفاده از حمل‌ونقل عمومی و تردد خودروهای تک‌سرنشین نیز به‌ترتیب به‌عنوان دومین و سومین شاخص‌های مؤثر در ارزیابی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها شناخته شدند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هر چه استراتژی انتخابی برای کنترل تراکم ترافیک بیشتر موجب افزایش استفاده از حمل‌ونقل عمومی و کاهش تردد خودروهای تک‌سرنشین شود، کارایی آن بیشتر است و مؤثرتر می‌باشد. از آن‌جایی که بیشتر سفرهای کاری در مشهد بااستفاده از خودروی شخصی انجام می‌شوند [29] و باتوجه به این‌که بخش اعظم خودروهای حاضر در جریان ترافیک خیابان‌ها و معابر مرکزی مشهد، خودروهای تک‌سرنشین هستند [30]، می‌توان نتیجه گرفت که چنان‌چه استراتژی انتخابی برای کنترل تراکم ترافیک در شهر مشهد بتواند به‌صورت معنی‌داری حجم تردد خودروهای شخصی را کاهش دهد، حجم جریان ترافیک در معابر واقع در محدودهٔ مرکزی این کلان‌شهر به‌میزان قابل توجهی کاهش خواهد یافت و موجب رضایت هر چه بیشتر کاربران راه خواهد شد [31]. همان‌گونه که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، حدودا ۷۰ درصد از مجموع اوزان شاخص‌ها و زیرمعیارهای ارزیابی به سه شاخص مذکور یعنی هزینهٔ سفر، استفاده از حمل‌ونقل عمومی و کاهش تردد خودروهای تک‌سرنشین اختصاص یافته‌است؛ بنابراین می‌توان سه شاخص مذکور را

مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر در ارزیابی و اولویت‌بندی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها دانست.

همان‌گونه که گفته شد، با محاسبهٔ مجموع وزن زیرمعیارهای مربوط به هر معیار می‌توان اوزان نهایی معیارهای ارزیابی را محاسبه کرد. بر همین اساس، معیارهای ارزیابی نیز مطابق جدول (۷) و براساس اوزان نرمال‌شده اولویت‌بندی گردیدند. همان‌گونه که در جدول (۷) مشاهده می‌شود، معیارهای عملکرد ترافیکی و رفاه اجتماعی در اولویت بالاتری نسبت‌به معیار زیست‌محیطی قرار گرفته‌اند.

باتوجه به وزن نهایی گزینه‌ها در سوپرماتریس حدی در روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)، گزینه‌های ارزیابی یا استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها مطابق شکل (٦) رتبه‌بندی گردیدند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، استراتژی قیمت‌گذاری تراکم ترافیک با وزن نرمال‌شدهٔ ۰/٤٨٤ به‌عنوان بهترین استراتژی کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها شناخته شد. دو استراتژی ایجاد محدودهٔ ممنوعهٔ تردد و طرح تردد نوبتی نیز امتیاز تقریبا یکسانی را کسب کردند که بیانگر عدم موفقیت و کارایی لازم طرح تردد نوبتی (زوج و فرد)، یعنی طرح ترافیکی که در حال حاضر در شهر مشهد وجود دارد، می‌باشد.



شکل ٦ اولویت‌بندی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها

جدول ۷ رتبه‌بندی معیارهای ارزیابی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها

رتبه	معیار	مجموع وزن زیرمعیارها	وزن نرمال شده
۱	عملکرد ترافیکی	۰/۳۲۵	۰/۵۳٤
۲	رفاه اجتماعی	۰/۲۵۲	۰/٤۱٤
۳	زیست‌محیطی	۰/۰۳۲	۰/۰۵۲

نتیجه‌گیری

باتوجه به ارزیابی انجام‌شده در این تحقیق، مناسب‌ترین استراتژی کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها، استراتژی قیمت‌گذاری تراکم ترافیک می‌باشد. استراتژی‌های طرح تردد نوبتی (زوج و فرد) و ایجاد محدودهٔ ممنوعهٔ تردد نیز به‌ترتیب در اولویت‌های دوم و سوم قرار می‌گیرند.

کسب امتیازاتی تقریبا برابر توسط طرح‌های ایجاد محدودهٔ ممنوعهٔ تردد و طرح تردد نوبتی (زوج و فرد)، نشان‌دهندهٔ عدم کارایی مناسب طرح تردد نوبتی (زوج و فرد) در کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهر مشهد می‌باشد. مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که طرح تردد نوبتی (زوج و فرد) تنها در جابه‌جایی آلودگی هوا نقش دارد و تأثیری در کاهش آن ندارد [20]؛ درحالی‌که طرح قیمت‌گذاری تراکم ترافیک تا حد قابل توجهی در کاهش آلاینده‌های هوا مؤثر می‌باشد[15]. علاوه‌بر شاخص آلودگی هوا، در سایر شاخص‌های ارزیابی نیز طرح تردد نوبتی (زوج و فرد) امتیازات بالایی کسب نکرده‌است؛ به همین دلیل، در رتبه‌بندی نهایی استراتژی‌ها با اختلافی بسیار اندکی با طرح ایجاد محدودهٔ ممنوعهٔ تردد، در رتبهٔ دوم قرار گرفت.

مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر در ارزیابی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک در این پژوهش نیز به‌ترتیب شاخص‌های هزینهٔ سفر، استفاده از حمل‌ونقل عمومی و تردد خودروهای تک‌سرنشین بودند که بیشترین اوزان را به خود اختصاص دادند. پس از آنها، شاخص‌های سرعت عملکردی، زمان سفر، دسترسی، آلودگی هوا و تخلفات رانندگی نیز در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. علی‌رغم این‌که علاوه‌بر موارد فوق، سه شاخص تصادفات خودروها، تصادفات عابران پیاده و دوچرخه‌سواران و آلودگی صوتی نیز در تحقیقات گذشته به‌عنوان شاخص‌هایی مؤثر شناخته شده بودند [22]، در پژوهش حاضر و بااستفاده از روش دلفی مشخص گردید که این سه شاخص معیارهای چندان مناسبی برای ارزیابی راهکارهای کنترل تراکم ترافیک در کلان‌شهرها نمی‌باشند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در صورت پایش معیارهای ارزیابی بااستفاده از روش دلفی، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نظیر روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) به نتایج دقیق‌تری منجر خواهند شد. هم‌چنین باتوجه به وابستگی‌های موجود میان معیارهای ارزیابی، توصیه می‌گردد در سایر پژوهش‌های مربوط به ارزیابی و رتبه‌بندی استراتژی‌های کنترل تراکم ترافیک از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده گردد.

مراجع

1. Chen, Y., Zheng, N. and Vu, H. L., "A Novel Urban Congestion Pricing Scheme Considering Travel Cost Perception and Level of Service", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 125, 103042, (2021).
2. Mirbaha, B., Sherafatipoor, S. and Mahpoor, A., "Congestion pricing model for urban congested roads (Case study: Sadr elevated Bridge)", *Quarterly Journal of Transportation Engineering*, Vol. 7, No. 2, pp. 353-365, (2016). (In Persian)
3. Carey, M. and Srinvasan, A., "Externalities, Average and Marginal Costs, and Tolls on Congested Networks with Time Varying Flows", *Operational Research*, Vol. 41, No. 1, pp. 217-231, (1993).
4. – Rostami, H. and Ataeian, H., "Mechanized control of traffic planning range", *7th Conference on Traffic & Transportation Engineering in Iran*, Tehran, (2006). (In Persian)
5. Zhong, S., Gong, Y., Zhou, Z., Cheng, R. and Xiao, F., "Active Learning for Multi-Objective

Optimal Road Congestion Pricing Considering Negative Land Use Effect", *Transportation Research Part C*: *Emerging Technologies*, Vol. 125, 103002, (2021).

6. Gehlot, H., Honnappa, H. and Ukkusuri, S.V., "An Optimal Control Approach to Day-to-Day Congestion Pricing for Stochastic Transportation Networks", *Computers and Operations Research*, Vol. 119, 104929, (2020).
7. Ghane, Y. and Fallah-Tafti, M., "A Review of Analytical and Practical Methods of Pricing Traffic Conditions on Roads", *3rd International Conference on Recent Innovations in Civil Engineering, Architecture and Urban Planning*, Tehran, (2016). (In Persian)
8. Yang, H. and Huang, H., "Carpooling and Congestion Pricing in a Multilane Highway with High-Occupancy-Vehicle Lanes", *Transportation Research Part A: Policy and practice*, Vol. 33, No. 2, pp. 139-155, (1999).
9. Latifi, L. and Abedini, M., "Comparison of three solutions of traffic prohibition zone, shift traffic plan and congestion pricing on traffic in Tehran", *The 12th International Conference on Traffic & Transportation Engineering*, Tehran, (2013). (In Persian)
10. Smith, M., "The Marginal Cost Taxation of a Transportation Network", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 13, No. 3, pp. 237-242, (1979).
11. Ahmadi-Azari, K., Arintono, S., Hamid, H. and Davoodi, S. R., "Evaluation of Demand for Different Trip Purposes Under Various Congestion Pricing Scenarios", *Journal of Transport Geography*, Vol. 29, pp. 43-51, (2013).
12. Bojian, Z., Bliemer, M., Yang, H. and He, J., "A Trial-and-error Congestion Pricing Scheme for Networks with Elastic Demand and Link Capacity Constraints", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 72, pp. 77-92, (2015).
13. De Lara, M., De Palma, A., Kilani, M. and Piperno, S., "Congestion Pricing and Long Term Urban Form- Application to Paris Region", *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 43, pp. 282-295, (2013).
14. Daganzo, C. F. and Lehe, L. J., "Distance-Dependent Congestion Pricing for Downtown Zones", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 75, pp. 89-99, (2015).
15. Bandeira, J., Coelho, M., Pimental, M. and Khattak, A., "Impact of Intercity Tolls in Portugal- An Environmental Perspective", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 48, pp. 1174-1183, (2012).
16. Amirgholy, M., Rezaeestakhruie, H. and Poorzahedy, H., "Multi-Objective Cordon Price Design to Control Long Run Adverse Traffic Effects in Large Urban Areas", *NETNOMICS: Economic Research and Electronic Networking*, Vol. 16, pp. 1-52, (2015).
17. Guo, Y., Li, Y., Anastasopoulos, P. C., Peeta, S. and Lu, J., "China's Millennial Car Travelers' Mode Shift Responses Under Congestion Pricing and Reward Policies: A Case Study in

Beijing", *Travel Behaviour and Society*, Vol. 23, pp. 86-99, (2021).

18. Simoni, M. D., Kockelman, K. M. and Gurumurthy, K. M., "Congestion Pricing in a World of Self-Driving Vehicles: An Analysis of Different Strategies in Alternative Future Scenarios", *Transportation Research Part C*: *Emerging Technologies*, Vol. 98, pp. 167-185, (2019).
19. Amini, B. and Mojarradi, M., " Investigation and evaluation of Tehran's turning traffic plan", *The 7th International Conference on Traffic & Transportation Engineering*, Tehran, (2006). (In Persian)
20. Pak-gouhar, A. and Hooshangifar, A., "Study of the position of couple and individual traffic plan in the metropolis of Tehran", *The 3rd Regional Conference on Traffic Management*, Tehran, (2006). (In Persian)
21. Kumar, R., Kumar Mishra, R., Chandra, S. and Hussain, A., "Evaluation of Urban Transport -Environment Sustainable Indicators During Odd–Even Scheme in India", *Environment, Development and Sustainability*, Vol. 23, pp. 17240-17262, (2021).
22. Kadkhodaei, M. and Shad, R., "Evaluation of Traffic Congestion Pricing Methods in Touristic Metropolises (Case Study: Mashhad City)", *Journal of Transportation*, Vol. 4, No. 61, pp. 111-127, (2018). (In Persian)
23. Habibi, A., Firouzi-Jahantigh, F. and Sarafrazi, A., "Fuzzy Delphi Technique for Forecasting and Screening Items", *Asian Journal of Research in Business Economics and Management*, Vol. 5, No. 2, pp. 130-143, (2015).
24. Zebardast, E., "Application of Analytical Network Process (ANP)", *Journal of Fine Arts, Architecture and Urban Development*, No. 41, pp. 79-90, (2010). (In Persian)
25. Afandizadeh, S., Javanshir, H., Shamanian, H., "Presentation of Suburban Road Prioritization Model for Equipping Speed Control Cameras Using ANP Network Analysis Process (Case Study: Isfahan Province Roads)", *The 15th International Conference on Traffic & Transportation Engineering*, Tehran, (2015). (In Persian)
26. Saghaei, M. and Javan-bakht, Z., "An analysis of the statistics of domestic tourists and domestic visitors entering the Mashhad metropolis using time series models", *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, Vol. 28, pp. 71-94, (2013). (In Persian)
27. Abbasi, D. and Ghare-baghi, M., "Study of the Importance of Tourism Effects on Transportation Case Study: Mashhad City", *International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Infrastructure,* Tabriz, (2015). (In Persian)
28. Kadkhodaei, M. and Shad, R., "Analysis and Evaluation of Traffic Congestion Control Methods in Touristic Metropolis Using Analytical Hierarchy Process (AHP)", *Civil Engineering Journal*, Vol. 4, No. 3, pp. 602-608, (2018).
29. Sajjadi, S. A., Biglari, H., Mazloom-shahri, S. B. and Shakeri, H., "Objectives of personal

transport in urban environments; Review of traffic management in order to improve public health", *The Horizon of Medical Sciences*, No. 21, pp. 123-128, (2016). (In Persian)

30. Mashhad-Fouri news site, "Mashhad in the occupation of single-occupancy vehicles", Accessed on October 14, 2017, Available at: http://www.mashhadfori.com/detail/65903/مشهد-در-تسخیر-خودرو-های-تک-سرنشین, (2017). (In Persian)

31. Saghaei, M., "Strategic Analysis of Welfare Areas of Religious Tourism in Mashhad Metropolitan Area with Emphasis on Coherent Quality Management of Religious Tourism", *The 6th National Conference on Urban Planning and Management*, Mashhad, (2014). (In Persian)